

В.В. Яворский, Л.К. Сулейменова

## Моделирование процесса перевозок на транспортных маршрутах

( Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда )

В статье рассмотрен процесс моделирования пассажирских перевозок. Предложена модель определения потокораспределения, которая, с одной стороны, использует психофизические закономерности выбора пути следования, а также закономерности процессов обслуживания, а с другой стороны, как модель первой группы ищет равновесное распределение пассажиропотоков.

Возможность решения задачи моделирования процессов транспортировки пассажиров на сети ГПТ тем или иным методом зависит от вида изучаемой сети. При этом под сетью ГПТ будем понимать совокупность маршрутов. Будем также считать, что перевозка пассажиров на сети осуществляется между транспортными районами (ТР) города, в которых имеется один обобщенный пункт обслуживания (остановка) маршрута в случае, если маршрут проходит через ТР.

Предлагается различать с позиций последующего анализа три основных вида сетей ГПТ. Если маршрут, составляющий сеть ГПТ, не имеет общих пассажиропотоков, будем называть его сетью независимых маршрутов (рисунок 1). В случае если маршрут имеет общие пассажиропотоки, но на каждой остановке их можно разделить пропорционально потоку поступающих на остановку свободных мест в ТЕ, который определяется после рассмотрения процесса обслуживания на предыдущих остановках маршрута, будем называть сеть ГПТ сетью с разделяющимися пассажиропотоками (рисунок 2). Все остальные сети ГПТ будем называть сложными (рисунок 3).

Для моделирования процессов на сети независимых маршрутов необходимо отдельно исследовать эти процессы для каждого маршрута. Для получения параметров пассажиропотоков и характеристик транспортного обслуживания сети в целом необходимо сложить полученные для отдельных маршрутов параметры и характеристики.

При моделировании процессов пассажирских перевозок на сети маршрутов ГПТ с разделяющимися пассажиропотоками можно исходить из следующего положения. Если пассажиры одной остановки обслуживаются несколькими маршрутами, то общий пассажиропоток при прочих равных условиях распределяется между маршрутами пропорционально числу поступающих свободных мест в ТЕ маршрутов. Это предположение делает необходимым совместное исследование тех групп маршрутов, которые обслуживают одинаковые корреспонденции.

Описанные методы анализа процессов перевозки пассажиров могут быть использованы для сравнительно несложных сетей, анализ же сложных сетей ГПТ с учетом многих факторов, влияющих на перевозки пассажиров, возможен лишь с использованием моделей массового поведения пассажиров при перевозках. При этом формируется потокораспределение на всей сети.

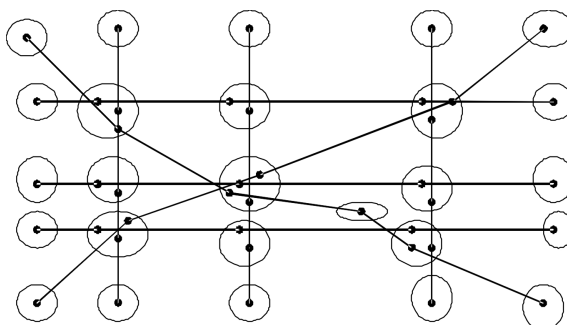


Рисунок 1 - Сеть независимых маршрутов

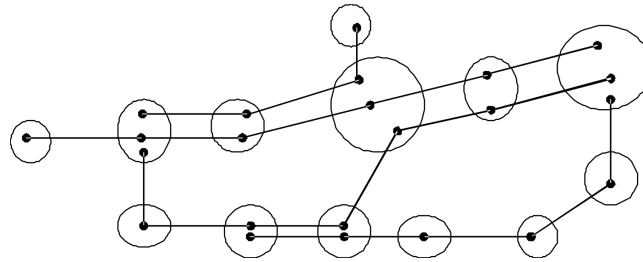


Рисунок 2 - Сеть маршрутов ГПТ с разделяющимися зависимыми пассажирами

Наиболее распространенной методикой определения потокораспределения являются энтропийные модели [3], моделирующие массовое поведение с учетом некоторых априорных предпочтений. Имеются также методы, в которых более детально исследуются самоорганизация и психофизические закономерности поведения пассажиров.

Рассмотрим модель, которая, с одной стороны, является представителем второго направления, так как использует психофизические закономерности выбора пути следования, а также закономерности процессов обслуживания, а с другой стороны, как модель первой группы ищет равновесное распределение пассажиропотоков.

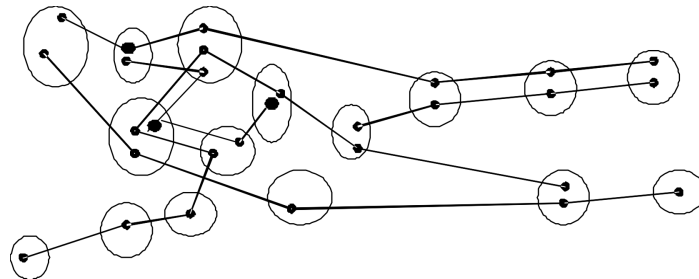


Рисунок 3 - Сложный тип сетей

Стратегия выбора пассажирами  $\xi$ -го пути следования из  $i$ -го района в  $j$ -й из всей совокупности возможных путей может быть задана вероятностью

$$P_{\xi}^{ij} = \frac{1}{N} \left\{ 1 + a_t \ln \left[ \frac{\prod_{\xi=1}^N T_{\xi}^{ij}}{(T_{\xi}^{ij})^N} \right] + a_q \ln \left[ \frac{\prod_{\xi=1}^N q_{\xi}^{ij}}{(q_{\xi}^{ij})^N} \right] \right\} \quad (1)$$

где  $N \geq 2$  число возможных путей,  $T_{\xi}^{ij}$  и  $q_{\xi}^{ij}$  - соответственно, время передвижения и числа посадок на  $\xi$ -м пути следствия,  $a_t$  и  $a_q$  - коэффициенты относительного влияния времени проезда и числа пересадок на выбор пути. Имеет место следующее условие:  $0 \leq P_{\xi}^{ij} \leq 1$ . Учитывая, что в качестве множества обычно достаточно рассматривать пути, отличающиеся от кратчайшего между ТР  $i$  и  $j$  не более чем на 15-20 процентов и не имеющие более двух-трех пересадок. По результатам обследований получена следующая пропорция для коэффициентов  $a_t : a_q = 0,632 : 0,328$ . Значение коэффициентов можно найти из условия, что для пути  $\xi$ , отличающегося от кратчайшего на 15 процентов и имеющего три пересадки (четыре посадки в ТЕ,  $q_t = 4$ )  $P_{\xi}^{ij} = 0$

$$a_t = 1.28 \left( \frac{1}{n-1} \right), a_q = 0.592 \left( \frac{1}{n-1} \right) \quad (2)$$

Анализ процессов перевозки пассажиров удобно проводить, задавая сеть маршрутов графом [2], структура которого позволяет проводить расчеты пассажиропотоков с использованием стратегии выбора пассажирами путей передвижения. Предлагается представлять сеть маршрутов ГПТ графом  $L(Z, W)$  (см. Рисунок 4).

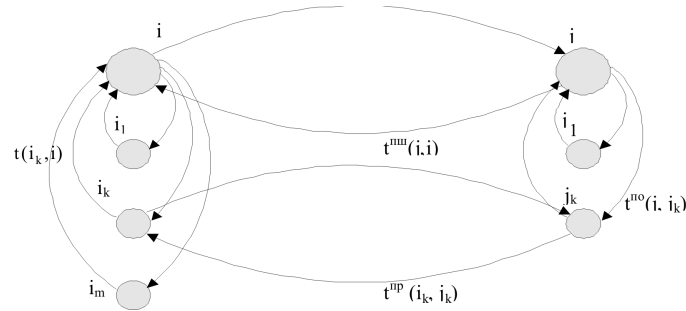


Рисунок 4 - Граф маршрутной сети

Множество вершин графа состоит из двух типов вершин  $i = \overline{1, n}$ , соответствующих остановкам различных маршрутов  $k = \overline{1, m}$ , проходящих через район  $i$ . Множество дуг  $W$  графа состоит из четырех типов дуг: дуг типа  $(i, i_k)$ , длины которых  $(t^{no}(j, j_k))$  равны времени под-хода и ожидания пассажиров, желающих осуществить посадку в ТЕ  $k$ -го маршрута; дуг типа  $(i_k, j_k)$ , длины которых  $(t^{pp}(i_k, j_k))$  задают время передвижения по соответствующему перегону  $k$ -го маршрута; дуг типа  $(i, j)$ , длины которых  $t^{pp}(i, j)$  задают время пешего передвижения между ТР  $i$  и  $j$ ; и дуг пересадок  $(i_k, i)$ , длина которых  $t(i_k, i)$  равна дополнительным затратам времени, которые возникают у пассажиров при пересадках.

Длины дуг типа  $(i, j)$ , и  $(i_k, i)$ , соответствующих пешим переходам и пересадкам при моделировании процессов перевозки пассажиров будем считать постоянными. Например, длительность пешего перехода можно оценить по формуле:

$$t^{pp}(i, j) = \frac{l(i, j)}{V_n} \quad (3)$$

где  $l(i, j)$  и  $V_n$  - соответственно, среднее расстояние между ТР  $i$  и  $j$  и скорость пешего передвижения.

Можно также считать постоянной и длины дуг типа  $(j, j_k)$ , которые можно оценить по формуле

$$t^{po}(j, j_k) = \frac{1}{V_n} \left( \frac{1}{4\sigma_{ik}} + \frac{a}{4} \right) + \frac{\tau_k}{2} \quad (4)$$

$a$  и  $\tau_k$  - соответственно среднее расстояние между остановками на маршрутах ГПТ (400-500 метров) и интервал между ТЕ на маршруте  $k$ ,  $a$  - плотность маршрута  $k$ ,  $\sigma_{ik}$  - плотность маршрута  $k$  в ТР  $i$ . Будем называть распределение пассажиров по дугам графа  $L(Z, W)$ , в предположении, что обслуживание пассажиров происходит без отказов, а значит, время передвижения [3]

$$t^{pp}(i_k, j_k) = \frac{l(i, j)}{V_t} \quad (5)$$

где  $V_t$  - средняя эксплуатационная скорость транспорта, идеальным потокораспределением.

Таким образом, при решении задачи моделирования процесса перевозок необходимо отдельно исследовать эти процессы для каждого маршрута. Определение критерия качества функционирования пассажирского транспорта связано с моделированием процессов, возникающих при функционировании системы, и, прежде всего, с моделированием распределения пассажиропотоков, которые в свою очередь, зависят от интенсивности движения транспортных средств на маршрутах. Все это предопределяет необходимость совместного решения задачи проектирования маршрутной сети и определения количества транспортных единиц на отдельных маршрутах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яворский В.В., Утепбергенов И.Т., Акенов С.Ш., Кизуб О.А. Структурные методы совершенствования управления транспортными системами городов: Монография. Караганда:

КарГТУ, 2006 - 272 с.

2. Яворский В.В. Модели распределения потоков на заданной сети коммуникаций. - В кн. Автоматизация и информационно-метрологическое обеспечение производства. - Караганда: изд-во КарПТИ, 1981. - С. 85-90.

3. Яворский В.В. Комплексное программное планирование рационального совершенствования транспортной системы. В кн.: Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов. - Екатеринбург: Комвакс, 1998. - С. 9-12.

**Яворский В.В., Сулейменова Л.Қ.**

Мақалада жолаушылар тасымалын модельдеу процесі қарастырылған. Ағынды бөлуді анықтау моделі ұсынылды, ол бір жағынан, жүру жолын таңдаудың психофизикалық заңдылығы, сондай-ақ қызмет көрсету процесінің заңдылығы ретінде пайдаланылса, ал екінші жағынан жолаушылар ағынын тепе-тең бөлу жолын қарастырады.

**Yavorskiy V.V., Suleimenova L.K.**

Process of passenger transportation modeling is considered in the article. Model of stream distribution determining, which from one side uses psychophysical regularities of movement way choice, and from other side, looks for balanced passenger stream distribution, is offered.

*Поступила в редакцию 12.05.10  
Рекомендована к печати 28.05.10*